FACULTÉ DE MÉDECINE DE PARIS

ANNÉE 1912 — THÈSE — N°

POUR

LE DOCTORAT EN MÉDECINE

PAR

Jean-Henri CAILLET

Né à Vesoul (Haute-Saône), le 2 octobre 1886

LES FILTRES

A

SABLE NON SUBMERGÉ

Président : M. WIDAL, *professeur*.

PARIS

IMPRIMERIE DE LA FACULTÉ DE MÉDECINE

JOUVE & Cie, ÉDITEURS

15, Rue Racine (VIe)

1912

FACULTÉ DE MÉDECINE DE PARIS

LE DOYEN, M. LANDOUZY

PROFESSEURS

	MM.
Anatomie	NICOLAS
Physiologie	Ch. RICHET
Physique médicale	WEISS
Chimie organique et Chimie générale	GAUTIER
Parasitologie et Histoire naturelle médicale	BLANCHARD
Pathologie et Thérapeutique générales	ACHARD
Pathologie médicale	WIDAL / TESSIER
Pathologie chirurgicale	X.
Anatomie pathologique	Pierre MARIE
Histologie	PRENANT
Opérations et appareils	HARTMANN
Pharmacologie et matière médicale	POUCHET
Thérapeutique	MARFAN
Hygiène	CHANTEMESSE
Médecine légale	THOINOT
Histoire de la médecine et de la chirurgie	LETULLE
Pathologie expérimentale et comparée	ROGER
Clinique médicale	DEBOVE / LANDOUZY / GILBERT / CHAUFFARD
Maladies des enfants	HUTINEL
Clinique des maladies mentales et des maladies de l'encéphale	Gilbert BALLET
Clinique des maladies cutanées et syphilitiques	GAUCHER
Clinique des maladies du système nerveux	DEJERINE
Clinique chirurgicale	DELBET / QUENU / RECLUS / SEGOND
Clinique ophtalmologique	DE LAPERSONNE
Clinique des maladies des voies urinaires	N.
Clinique d'accouchements	BAR / PINARD / RIBEMONT-DESSAIGNE
Clinique gynécologique	POZZI
Clinique chirurgicale infantile	KIRMISSON
Clinique thérapeutique	Albert ROBIN

AGRÉGÉS EN EXERCICE

MM.			
BALTHAZARD	DESGREZ	LENORMANT	PROUST
BERNARD	DUVAL (P.)	LEQUEUX	RATHERY
BRANCA	GOUGEROT	LERI	RETTERER
BRINDEAU	GREGOIRE	LOEPER	RICHAUD
BROCA (A.)	GUENIOT	MACAIGNE	ROUSSY
BRUMPT	GUILLAIN	MAILLARD	ROUVILLRE
CAMUS	JEANNIN	MORESTIN	SCHWARTZ
CARNOT	JOUSSET (A.)	MULON	SICARD
CASTAIGNE	LABBE (M.)	NICLOUX	TERRIEN
CHEVASSU	LANGLOIS	NOBECOURT	TIFFENEAU
CLAUDE	LAIGNEL-LAVASTINE	OKINCZYC	ZIMMERN
COUVELAIRE	LECENE	OMBREDANNE	

Par délibération en date du 9 décembre 1798, l'École a arrêté que les opinions émises dans les dissertations qui lui seront présentées, doivent être considérées comme propres à leurs auteurs et qu'elle n'entend leur donner aucune approbation ni improbation.

Ce travail est dédié à ceux qui m'élevèrent et m'apprirent ce que je sais de science.

A MON PRÉSIDENT DE THÈSE

MONSIEUR LE PROFESSEUR WIDAL

Je considérerai à l'égal de mes parents ceux qui m'ont appris l'art de la médecine.

(Serment d'Hippocrate)

PRÉFACE

On pourrait dire que les filtres sont un de nos plus puissants moyens de défense contre l'infection dont l'origine hydrique a été si bien mise en lumière durant ces dernières années.

Les filtres à sable submergé jusqu'ici employés sont défectueux, en ce qu'ils laissent passer un certain nombre de bactéries, qu'ils demandent de fréquents nettoyages, et que le séjour de l'eau à leur surface peut être une cause d'auto-infection.

Les filtres à sable non submergé ne présentent pas ces inconvénients et nous paraissent devoir prendre leur place dans les installations publiques ou particulières.

LES

FILTRES A SABLE NON SUBMERGÉ

Les eaux d'alimentation naturelles fournies par les sources sont des eaux de pluie, qui, pour former les nappes souterraines ont dû traverser des terrains perméables. Dans ce trajet, elles ont été sensiblement modifiées : elles se sont d'abord enrichies en sels qui leur ont fait perdre leur lourdeur et leur manque de goût, ensuite elles ont perdu les espèces microbiennes dont elles s'étaient chargées dans les couches superficielles du sol.

Il était donc rationnel d'imaginer une filtration naturelle des eaux au travers de terrains convenablement choisis : Thiem proposa en effet, en 1888, pour l'alimentation de Stralsund, de faire infiltrer l'eau d'un lac dans des couches sablonneuses.

Cette idée, on tenta de réaliser en Suède, ce fut M. l'ingénieur Richert à Gothembourg et Uddewallen ; et ses projets purent figurer à l'Exposition universelle de Paris en 1900. Il suralimentait une nappe aquifère, lui faisant donner un volume d'eau que son périmètre d'alimentation n'aurait pu lui fournir ; cette nappe gisait dans une formation géolo-

gique sableuse située entre deux couches de terrain imperméable. Les sables étaient drainés en profondeur au moyen de puits ; l'eau d'alimentation était celle du fleuve Gotha. Les résultats furent, dit-on, très remarquables, l'eau drainée étant à peu près aseptique.

En 1902, M. Léon Janet, ingénieur en chef au corps des Mines, proposa d'effectuer l'alimentation de Paris en eau potable au moyen d'une eau de rivière épurée par les sables des terrains naturels.

« L'idéal, disait-il, serait de disposer au-dessus d'une butte à déversement périphérique une immense pompe d'arrosage qui distribuerait l'eau de pluie. »

En opérant ainsi les sources émergeant à la périphérie de la butte verraient leur débit accru dans de grandes proportions et un drainage collecteur permettrait de recueillir toutes les eaux.

M. Janet, se basant sur l'action des pluies diluviennes des temps préhistoriques, croyait pouvoir produire une chute artificielle de 6 à 12 mètres d'eau par an, sans surmener le filtre naturel, et par conséquent, augmenter le débit des sources envisagées dans le rapport de un à dix ou vingt.

Pour cette installation, on aurait utilisé la butte de Montmorency ou diverses buttes sur lesquelles affleurent les sables de Fontainebleau.

Pour se faire une idée dès maintenant de la puissance de la filtration par le sable non submergé il suffit de regarder le degré d'épuration obtenu dans certaines régions, et en particulier à Méry-Pierrelaye

où la Ville de Paris épure par le sol une partie de ses eaux d'égouts.

L'eau à épurer contient environ 10 millions de bactéries par centimètre cube ; le filtre n'est ici que le sol naturel et malgré cela l'eau des drainages est d'une pureté bactériologique qui défie souvent celle des sources réputées parmi les meilleures. C'est ainsi que certains jours on peut observer des drainages donnant une eau contenant de 1 à 10 bactéries par centimètre cube.

ÉPURATION PAR LE SOL NATUREL

Drains de la région de Méry-Pierrelaye

(Bactéries par centimètre cube)

DATES	MÉRY	LA BONNEVILLE	ÉPLUCHES	COURCELLES	CHAUSSÉE JULES-CÉSAR	RUELLE DARRAS
10 janvier 1902.	620	200	2.200	1.305	20	340
17 —	340	110	40	10.495	290	290
24 —	2.000	20	240	8.100	16	585
31 —	800	535	2.410	1.200	1.650	1.030
7 février 1902.	»	39.785	280	4.320	55	420
14 —	200	145	40	1.200	1	220
21 —	100	155	6	320	6	155
28 —	1.600	170	8	160	205	2.260
7 mars 1902.	50	210	10	1.320	6	305
14 —	260	220	10	240	1	80
21 —	6.680	161.780	2	80	515	tr. nombr.
28 —	2.260	320	1.910	440	6	465
MOYENNES...	1.355	16.970	595	2.430	230	540

L'eau d'égout soumise à l'épuration par le sol renfermait environ 10 millions de bactéries par centimètre cube.

Une application pratique de ce genre de filtration avait été imaginée dès 1885 par M. Robert qui présenta à la Société académique de l'Aube, pour effectuer la purification des eaux potables, un dépollueur ainsi conçu :

« Cet appareil se compose d'un cylindre vertical à fond concave, d'une hauteur et d'une section proportionnées à la quantité d'eau à épurer.

» Vers la partie basse de l'appareil est disposé un diaphragme percé de trous, laissant au-dessous une chambre servant de réservoir d'eau et de décanteur, munie d'un robinet de tirage et d'un robinet purgeur. Le corps du cylindre est rempli de sable de grosseur appropriée, disposé au-dessous d'un lit de cailloux assez gros, recouvert de graviers, diminuant graduellement de hauteur ; à la partie supérieure de l'appareil sont disposés des petits robinets pulvérisateurs déversant l'eau sur le sable épurateur.

» L'eau arrivant aux pulvérisateurs s'épand à la surface du sable, descend lentement de grain en grain circulant sans interruption dans la masse épurante et embrassant une surface considérable constamment soumise à l'action de l'air, puis s'écoule dans le décanteur à la sortie duquel elle a acquis une limpidité parfaite. »

La Société académique de l'Aube fit étudier le fonctionnement de cet appareil ; mais malgré des expériences très probantes et les meilleurs résultats, ce filtre tomba dans l'oubli.

Depuis ce temps, M. le Dr Miquel, avec l'aide de

M. Mouchet, micrographe à l'observatoire de Montsouris, s'appliqua à soumettre les idées de M. Janet. (M. Mouchet me dit récemment qu'ils n'eurent pas connaissance du filtre de Robert) à un contrôle expérimental rigoureux. Il en vint à créer, en 1902, un filtre à sable non submergé artificiel très voisin de celui qui avait été présenté à la Société académique de l'Aube, lui permettant de purifier parfaitement 6 à 7 mètres cubes d'eau par mètre carré en vingt-quatre heures ; soit près de trois cents fois ce que proposait M. Léon Janet, et qui offrait l'avantage d'être construit partout et dans de faciles conditions.

Les filtres d'essai de M. le Dr Miquel étaient formés par un tuyau en fonte de o m. 80 de diamètre, d'une hauteur variant de 1 m. 60 à 2 mètres, fermé en bas par une plaque de fonte, et muni intérieurement d'un petit tube en fonte de o m 056 de diamètre fixé tangentiellement suivant une génératrice du tuyau. Le bout inférieur de ce petit tube était festonné et plongeait dans les matériaux de drainage de façon à pouvoir être utilisé comme bâche d'eau filtrée. Pour éviter la production d'oxyde de fer, ces appareils, entièrement métalliques étaient recouverts d'une couche de coaltar. Dans le bas, sur la plaque de fonte, un drainage en briques sèches, d'une hauteur de o m. 16, au-dessus duquel on avait disposé une couche de gros gravier de o m. 05 de hauteur surmontée de gravillon d'épaisseur égale.

Sur cette couche était versé en le tassant du sable

sous des épaisseurs variant de 0 m. 80 à 1 m. 28. La distribution se faisait par un tourniquet hydraulique, ou par un tube en spirale percé de trous de façon que l'eau fut répartie aussi uniformément que possible sur la surface filtrante qui était de 0 m² 5026.

La théorie de MM. Miquel et Mouchet est la suivante :

L'épuration par les filtres à sable non submergé repose sur les actions attractives déterminées par le contact intime des larmes minces d'eau brute avec les surfaces solides insolubles.

Plus ces surfaces de contact seront grandes, plus ces lames d'eau seront minces, et plus parfaite sera l'épuration.

Nous allons examiner quelles sont les diverses conditions à réaliser pour le bon fonctionnement de ces appareils et quelle est la façon dont ils agissent.

1° **Epaisseur et nature de la couche filtrante.** — Dans tout modèle de filtre, il faut une épaisseur suffisante de sable : au moins 1 m. 20 d'après les expériences ; épaisseur dont la qualité doit d'abord attirer notre attention. Si le sable est vaseux, malpropre, chargé de détritus d'origine organique, l'eau effluente peut montrer pendant longtemps plus de bactéries que l'eau brute. Cela tient à ce que cette matière organique sert de nourriture aux microorganismes et n'est détruite par eux qu'avec beaucoup de lenteur : il vaut donc mieux en priver le sable avant de l'employer.

Pour cela, MM. Miquel et Mouchet ont essayé à plusieurs reprises l'action de la chaleur, de la formoldéhyde et des hypochlorites alcalins : les résultats obtenus ont été déplorables ; les antiseptiques une fois chassés du filtre, le chiffre des bactéries s'est souvent élevé à plus de 100.000 par centimètre cube d'eau filtrée et il a fallu attendre pendant plusieurs semaines l'abaissement du chiffre des microbes au taux de celui des eaux brutes. Ils s'en tinrent donc aux lavages soigneux du sable, d'abord avant le montage du filtre, puis avant de l'employer en forçant les débits de façon que l'eau puisse atteindre les diverses parties de l'appareil.

2° **Volume des grains de sable.** — La grosseur des grains de sable a aussi une influence capitale sur la purification des eaux : on était en droit de s'y attendre d'après la théorie que nous avons énoncée : plus le sable que l'on emploiera sera fin et plus les lames d'eau brute seront minces.

Un simple exemple permettra d'apprécier l'influence de cette ténuité sur le développement des surfaces mises en rapport avec les eaux à épurer.

Supposons un filtre d'un volume invariable formé de grains de sable cubiques de 0 m² 006 de surface et faisons subir par la pensée à chacun de ces grains trois sections successives dans les axes de ces cubes et parallèlement aux surfaces.

Cette première section permet d'obtenir huit nouveaux cubes présentant en tout, 0 m² 012. Une nou-

velle section de ces petits cubes ainsi formés fournira 64 cubes de o m² 024 de surface ; enfin la troisième section qui donne des cubes de o m. 125 d'arête, divise le cube primitif en 512 cubes microscopiques offrant o m² 048 de surface. Ces petits cubes sont assez voisins comme petitesse des grains qui forment le sable de Fontainebleau.

Tandis que le nombre des grains croit suivant les termes d'une progression géométrique dont la raison est 8, les surfaces croissent suivant les termes d'une progression de même nature et dont la raison est 2.

Surfaces.....	6	12	24	48
Nombre de grains.	1	8	64	512

Ceci permet d'affirmer avec assez d'exactitude que sous le même volume, le sable de Fontainebleau offre une surface huit fois plus grande qu'un sable de carrière ou de rivière constitué par des cubes dont les arêtes auraient 1 millimètre.

En même temps que la grosseur des grains diminue, les interstices qui existent entre ces grains deviennent plus nombreux et fournissent des canalicules de plus en plus capillaires ; aussi, théoriquement, devrait-on employer des sables très fins pour la construction des filtres non submergés.

Le sable de Fontainebleau est d'un excellent usage, toutefois il devient un obstacle aux débits rapides en raison de la lenteur avec laquelle l'eau traverse la couche épuratrice. Avec ce sable, il n'est guère

possible d'épurer par jour plus de deux mètres cubes d'eau claire par mètre, débit dont on peut se contenter dans un grand nombre de cas.

Si l'on prend un sable de grains un peu plus gros variant de 0 m. 0005 à 0 m. 00075, on peut doubler et même tripler les débits sans noyer le sable et sans nuire à l'épuration de l'eau. Mais si le diamètre des grains augmente jusqu'à 0 m. 001 ou 0 m. 0015, les résultats fournis sont tout d'abord mauvais et, ce n'est qu'après une assez longue période d'attente que les appareils mis en expérience donnent des résultats acceptables. Il est d'ailleurs loin d'être indifférent que ce sable à grain de cette grosseur soit ou non accompagné d'une quantité plus ou moins élevée de sable fin ou très fin.

Des expériences furent faites avec du sable de Seine et du sable de Loire qui présentent un grand intérêt pratique :

Avec le sable de Seine renfermant par kilogramme 280 grammes de grains de 0 m. 001 à 0 m. 0015 et 720 grammes de grains de grosseur inférieure à un millimètre, y compris la période de lavage, on n'obtient de l'eau convenablement épurée qu'au bout de quinze à seize semaines ainsi que l'indique le tableau suivant :

Sable de Seine tout venant passant par la maille de 1 mm,5 de côté (Filtre V, surface = 0 m², 5025 eau de source)

Numéros des semaines	Eau brute		Eau filtrée	
	Bactéries par cmc.	*B. coli* par litre	Bactéries par cmc.	*B. coli* par litre
1	2200	»	39710	28
2	480	»	4600	25
3	320	»	2040	28
4	370	»	1050	7
5	285	»	1265	20
6	950	»	2040	23
7	995	»	1450	22
8	1880	»	770	24
9	450	»	475	15
10	205	»	350	7
11	325	»	270	1
12	1105	»	625	3
13	2440	»	540	1
14	680	30	370	0
15	190	»	340	3
16	200	»	415	0
17	155	»	120	0
18	1045	»	155	0
19	695	»	165	0
20	305	»	1090	0
21	560	93	230	0
22	1045	136	190	0
23	400	72	105	0
24	410	41	95	0
25	365	52	65	1
26	220	76	50	0
27	225	69	55	0
28	1050	102	50	0
29	1985	437	40	0
30	795	146	95	0
31	249	45	100	0
32	1025	109	95	0

Si l'on prend du sable de Loire passant entièrement à travers le tamis de o m. 0015, on constate d'abord que chaque kilogramme de sable renferme 450 grammes de grains de o m. 001 à o m. 0015 contre 550 grammes de grains inférieurs à un millimètre et ensuite qu'il faut souvent plus de six mois pour obtenir des eaux convenablement épurées.

Sable de Loire tout venant passant par la maille de 1 mm, 5 de côté (Filtre VII, surface = o m², 5025 eau de source)

Numéros des semaines	Eau brute		Eau filtrée	
	Bactéries par cmc.	*B. coli* par litre	Bactéries par cmc.	*B. coli* par litre
1.....	495	33	8310	18
2.....	670	40	1700	15
3.....	655	24	1175	4
4.....	1060	28	655	6
5.....	630	88	730	8
6.....	890	77	1030	8
7.....	1285	52	720	4
8.....	1580	167	1205	5
9.....	1380	272	1020	7
10.....	1905	175	660	3
11.....	335	130	330	1
12.....	230	250	410	0
13.....	4465	187	290	1
14.....	585	333	305	1
15.....	1600	133	295	3
16.....	795	157	225	6
17.....	2690	375	200	20
18.....	620	161	25	11
19.....	625	109	60	17
20.....	1810	2006	32	5

Numéros des semaines	Eau brute		Eau filtrée	
	Bactéries par cmc.	*B. coli* par litre	Bactéries par cmc.	*B. coli* par litre
21	510	139	215	3
22	310	150	24	0
23	80	83	35	0
24	185	77	80	0
25	375	147	100	0
26	865	222	38	0
27	3090	777	79	1
28	1785	96	66	1
29	685	80	31	0
30	195	225	35	2
31	760	2330	68	4
32	1065	1625	33	4
33	890	1375	53	4
34	110	615	69	1
35	49	98	70	0
36	430	109	68	2
37	260	54	62	3
38	800	181	47	8
39	375	139	13	10
40	870	240	19	9
41	1045	217	48	5
42	560	181	10	1
43	210	44	3	3
44	425	90	5	1
45	370	95	4	0
46	910	142	82	0
47	470	166	37	0
48	240	75	45	0
49	960	130	51	0
50	3260	75	27	0
51	880	500	50	0
52	8790	400	30	1
53	2640	272	34	0
54	665	28	27	1

Numéros des semaines	Eau brute		Eau filtrée	
	Bactéries par cmc.	*B. coli* par litre	Bactéries par cmc.	*B. coli* par litre
55	620	21	15	0
56	1015	60	37	0
57	840	400	24	0
58	300	59	28	0
59	367	109	23	1
60	468	22	38	0
61	200	130	23	0
62	1334	3150	18	3
63	328	1250	29	0
64	158	300	33	0
65	140	99	27	0
66	130	83	32	0
67	665	103	22	0
68	368	2335	36	0
69	493	1100	75	0
70	160	332	36	0
71	550	1000	24	0
72	230	335	34	0
73	583	900	109	0
74	300	1100	22	0
75	188	461	28	1
76	488	835	22	0
77	277	1090	12	0
78	490	769	14	0
79	116	500	7	0
80	280	107	20	0
81	295	900	11	0
82	415	500	16	0
83	258	461	34	0
84	280	352	7	0
85	178	275	7	0
86	47	116	3	0
87	187	71	5	0
88	433	34	12	0

Numéros des semaines	Eau brute		Eau filtrée	
	Bactéries par cmc.	*B. coli* par litre	Bactéries par cmc.	*B. coli* par litre
89.....	858	214	26	0
90.....	650	1375	8	0
91.....	305	171	26	0
92.....	388	166	31	0
93.....	370	250	31	0
94.....	206	70	13	0
95.....	108	121	13	0
96.....	1335	335	5	0

Il fallut ainsi quarante-quatre semaines pour que l'eau épurée par le sable de Loire se montrât de bonne qualité hygiénique et si l'on veut être exact ce n'est qu'au bout de soixante-quatre semaines que l'eau filtrée s'est montrée d'une façon absolue exempte du bacillus coli-communis.

On ne peut donc conseiller, pour la construction de nos filtres, l'emploi de matériaux contenant 45 o/o de grains supérieurs à 1 millimètre.

Que penser alors des expérimentateurs qui ont employé des sables de grains bien supérieurs à o m. 0015 et très pauvres en sable passant par la maille de o m. 001?

Par contre si nous prenons du sable de Seine de o m. 0005 à o m. 0008 de diamètre nous verrons, comme le montre le tableau ci-joint qu'au bout de six semaines le filtre peut être considéré comme mûr et capable de fournir d'excellents résultats même pour une eau donnant parfois un chiffre de bacilles

du côlon qui s'élève par litre à 1.500 et au-dessus.

Comme dans la pratique on emploie souvent du sable qui n'a pas la finesse de celui de Fontainebleau, il faut bien retenir que l'eau filtrée demande un temps assez long avant de pouvoir être livrée à la consommation.

Sable de Seine de $0^{mm},5$ *à* $0^{mm},8$ *de diamètre*
(*Filtre III, surface* $= 0\ ^{m^2},5025$ *eau de source*).

Numéros des semaines	Eau brute		Eau filtrée	
	Bactéries par cmc.	*B. coli* par litre	Bactéries par cmc.	*B. coli* par litre
1	2130	87	15115	20
2	1650	12	2900	25
3	2150	50	830	23
4	2475	54	935	13
5	4355	12	210	4
6	5450	42	120	1
7	1825	1665	161	0
8	835	1272	100	0
9	1085	466	120	0
10	905	523	170	0
11	1300	400	185	0
12	320	77	195	0
13	1750	294	85	0
14	990	242	85	0
15	720	33	70	0
16	1020	30	65	0
17	2285	179	65	0
18	2740	40	45	0
19	855	56	11	0
20	900	15	20	0
21	557	4	12	0

Numéros des semaines	Eau brute		Eau filtrée	
	Bactéries par cmc.	*B. coli* par litre	Bactéries par cmc.	*B. coli* par litre
22	500	22	23	0
23	1835	92	27	0
24	2930	240	18	0
25	1165	43	9	0
26	585	30	9	0
27	630	49	3	0
28	775	7	2	0
29	850	22	9	0
30	630	38	19	0
31	1000	113	22	0
32	615	60	33	0
33	1570	80	39	0
34	2070	353	38	0
35	1860	175	22	0
36	860	100	61	0
37	1075	140	24	0
38	1545	206	19	1
39	345	111	40	0
40	70	100	58	0
41	170	80	47	0
42	140	82	14	0
43	830	357	45	0
44	860	285	56	0
45	3875	420	20	0
46	1200	58	25	0
47	80	125	7	0
48	235	1835	2	0
49	1210	1620	6	0
50	820	1875	7	0
51	850	1800	6	0
52	62	270	27	0
53	160	80	13	0
54	462	116	15	0
55	226	57	12	0

Numéros des semaines	Eau brute		Eau filtrée	
	Bactéries par cmc.	*B. coli* par litre	Bactéries par cmc.	*B. coli* par litre
56.....	895	205	10	0
57.....	365	153	13	0
58.....	1060	411	32	0
59.....	895	162	10	0
60.....	745	78	28	0
61.....	265	28	2	0
62.....	475	130	1	0
63.....	300	127	3	0
64.....	950	130	19	0

Avec le sable de Fontainebleau dont la grosseur du grain varie de 0 m. 0001 à 0 m. 0002 de diamètre les filtres non noyés peuvent donner des résultats au bout de une à deux semaines.

Les durées de temps, toutefois, que nous venons d'indiquer pour l'obtention d'une eau saine et salubre ne sont qu'approximatifs et paraissent devoir varier suivant la teneur en sable très fin des divers matériaux employés.

En tous cas ces résultats indiquent la nécessité d'employer pour constituer des filtres à sable non submergé des sables fins et très fins dont les grains ne doivent pas dépasser 1 millimètre de diamètre.

Faute de se conformer à ce principe, on attendra longtemps les bons résultats que ces filtres sont susceptibles de donner.

3° **Diamètre des filtres.** — Il y a une autre condition dont l'importance est non moins grande

que celle que nous venons d'examiner : c'est le diamètre que l'on donnera au filtre : si ce diamètre est réduit au-delà d'une certaine limite les résultats obtenus varient au point de faire rejeter complètement l'emploi de l'appareil.

On pouvait supposer *à priori* que ce qui est vrai pour une surface filtrante de 50 décimètres carrés, 1 mètre carré et davantage serait également exact pour les surfaces plus petites de 10 décimètres carrés, 5 décimètres carrés, 3 décimètres carrés ; en un mot, que les filtres de grande section pouvaient être considérés comme formés de petits éléments prismatiques accolés fonctionnant aussi bien isolément qu'associés en grand nombre.

Cette hypothèse est sanctionnée par l'expérience quand les éléments considérés ont une section voisine ou supérieure à 50 décimètres carrés, mais elle cesse de l'être quand on s'écarte notablement de la section d'un 1/2 mètre carré pour descendre aux sections de 10 décimètres carrés, 5 décimètres carrés et 3 décimètres carrés.

Plus les filtres à sable non submergé sont de faible diamètre et plus l'eau traitée qui s'en écoule est chargée de bactéries épiphénoménales, c'est-à-dire provenant de pullulations qui ont lieu dans la partie inférieure de l'appareil.

Quelque paradoxal que puisse paraître ce fait et quelque explication que l'on tente d'en donner, il faut d'abord s'incliner devant les expériences longtemps soutenues qui vont être rapportées.

On se servit de trois appareils cylindriques possédant une hanteur de 1 m. 20 de sable de Loire, tout venant, passant au travers d'un tamis à mailles de 0 m. 0015 de côté et offrant respectivement les diamètres suivants :

	Diamètre	Surface
Filtre A.....	0 m. 80	0 m² 5025
Filtre B.....	0 m. 35	0 m² 0961
Filtre C.....	0 m. 17	0 m² 0226

Chacune des expériences a été prolongée pendant plus d'un an et les dosages des bactéries et du bacille du côlon ont été effectués deux à trois fois par semaine sur les appareils fonctionnant d'une façon continue avec un débit correspondant à une tranche d'eau journalière de 2 m. 45. L'eau brute désigne ici l'eau de la canalisation parisienne analysée sans retard, à sa sortie des réservoirs à niveau constant utilisés pour l'irrigation des filtres, comparativement à l'eau effluente étudiée par les procèdés et par des milieux de culture absolument identiques.

Lé résultats moyens furent :

Filtre A

	Eau brute		Eau filtrée	
	Bactéries par cmc.	*B. coli* dans 100 cmc.	Bactéries par cmc.	*B. coli* dans 100 cmc.
	556	40	37	0
	2.349	36	31	0
	528	82	28	0
	343	107	33	0
	319	90	13	0
	357	31	22	0
Moyenne.	742	64	27	0

Filtre B

	Eau brute		Eau filtrée	
	Bactéries par cmc.	*B. coli* dans 100 cmc.	Bactéries par cmc.	*B. coli* dans 100 cmc.
	—	—	—	—
	338	94	874	0
	335	65	652	0
	152	11	520	0
	637	32	701	0
	393	52	1.772	0
	234	22	562	0
Moyenne.	351	46	846	0

Filtre C

	Eau brute		Eau filtrée	
	Bactéries par cmc.	*B. coli* dans 100 cmc.	Bactéries par cmc.	*B. coli* dans 100 cmc.
	—	—	—	—
	1.388	10	5.230	0
	1.192	14	2.088	0
	1.128	22	1.819	0
	687	113	1.072	0
	407	31	2.727	0
	750	85	2.692	0
Moyenne.	925	45	2.604	0

Si on rapproche les moyennes générales de ces trois filtres, on obtient en résumé que le filtre A a donné des eaux filtrées contenant en moyenne 27 bactéries par centimètre cube ;

Que le filtre B d'une surface cinq fois plus petite a fourni des eaux épurées présentent en moyenne 846 bactéries par centimètre cube ;

Que le filtre C d'environ 2 décimètres carrés de surface, vingt-cinq fois plus petite que celle du filtre B a donné des eaux filtrées contenant en moyenne 2.604 bactéries par centimètr ecube.

On voit aussi l'influence énorme qu'exerce le diamètre des filtres sur la composition bactériologique des eaux épurées.

Notons que les eaux des filtres A, B et C étaient réellement épurées, que le bacille du côlon trouvé en général dans 2 centimètres cubes d'eau brute a été trouvé absent dans 100 centimètres cubes des eaux filtrées par les trois appareils. Il serait absurde de supposer que les eaux sortant des deux derniers appareils aient été contaminées par l'eau brute, puisqu'elles ont présenté un chiffre de bactéries bien supérieur à celui de l'eau affluente. La seule supposition qui est admissible, c'est la pullulation des bactéries dans les filtres à sable non submergé avec d'autant plus de rapidité que leur diamètre est plus faible. Il est très probable, comme le pensent MM. Miquel et Mouchet, que ce phénomène est dû à l'aération de la masse filtrante par la surface périphérique latérale du sable en contact avec les parois de la cuve ; peut-être aussi le phénomène d'adsorption joue-t-il un rôle,

En tous cas les chiffres donnés établissent qu'au-dessous de 40 ou 50 décimètres carrés de surface les filtres ne peuvent plus donner de bons résultats.

4° Ce que deviennent les bactéries dans le

filtre. — Cette arrivée des bactéries provenant du filtre nous amène à envisager une autre question : quelle est la composition bactériologique de nos appareils ?

Comme ils retiennent sans exception les bactéries des eaux brutes, on conçoit qu'il n'est pas sans importance de savoir ce que deviennent ces microbes apportés incessament.

Pour cela, on sacrifia un filtre, c'est-à-dire qu'au moyen de truelles flambées on le débita en tranches horizontales en prenant soin d'étudier chaque tranche de sable au point de vue du nombre et de la nature des micro-organismes pouvant s'y trouver : nous reproduisons, dans le tableau suivant, le résultat de ces analyses :

Microorganismes par gramme de sable

	Bactéries	Moisissures
	—	—
Surface.....	202.000	14.410
0 m. 05 de profondeur..	276.000	8.000
0 m. 10 —	363.000	1.410
0 m. 20 —	420.000	510
0 m. 30 —	642.000	255
0 m. 40 —	564.000	170
0 m. 50 —	11.300	255
0 m. 60 —	406.000	510
0 m. 70 —	199.000	0
	246.000	0
0 m. 80 —	163.000	65
0 m. 90 —	132.000	255
1 m. 10 —	30.400	1.985

Le chiffre de 11.300 bactéries par gramme de sable paraît résulter d'une erreur d'observation car il ne concorde pas avec celui des tranches voisines. Cette réserve faite, on voit que le chiffre des bactéries augmente dans le sable jusqu'à 0 m. 30 de profondeur puis décroît assez régulièrement jusqu'à la base du filtre.

Au contraire le nombre des moisissures, relativement élevé à la surface libre du filtre, baisse rapidement, devient nul dans la tranche comprise entre om.70 et 0 m.80 de profondeur, puis va en augmentant jusqu'au gros sable qui sert de soutien au sable fin. Ces obsérvations sont appelées à modifier l'idée préconçue, du reste assez naturelle, qu'un sable constamment irrigué pendant des mois et des années finit par se débarrasser de la totalité ou presque totalité des microbes qu'il contenait à l'origine. On apprécie aisément qu'il n'en est pas ainsi et qu'il reste toujours dans la masse du filtre des bactéries vulgaires vivantes qui se détachent du sable, surtout de la partie inférieure de l'appareil et vont peupler l'eau filtrée avec celles qui vivent et se multiplient dans les drainages.

D'autre part les bactéries apportées par les eaux brutes, après avoir séjourné plus ou moins longtemps dans les couches supérieures du sable, meurent de vieillesse avant de pouvoir parvenir jusqu'aux drainages : il en est ainsi quels que soient les bacilles : on a contaminé le filtre avec diverses espèces pathogénes : bacille d'Eberth, spirille de Metchni-

koff, spirille de Deneke et même les bacilles de putréfaction de la viande et le résultat de ces expériences fut que les bacilles contenus dans les eaux soumises à la filtration restent retenues dans le filtre à sable non submergé.

Prenons par exemple une espèce moyennement fragile : le bacille du côlon : il aurait été amené en dix-huit mois sur le filtre d'expérience 30 millions d'individus ; durant cet espace on n'en a rencontré aucun dans les eaux filtrées, il était curieux d'en compter le nombre dans le sable de l'appareil et surtout de connaître jusqu'à quelle profondeur cette espèce pouvait parvenir.

Ce bacille a été encore trouvé à o m,30 de la surface du sable, mais il a fait défaut à o m.40, o m.50 et jusqu'aux drainages. De plus le calcul du chiffre des bacilles encore vivants dans les premières tranches de sable n'accusait plus que 30.000 individus ; il en avait péri 999 sur 1000. Les bacilles pathogènes dont nous parlions ci-dessus ayant une vitalité plus faible doivent disparaître encore plus rapidement.

L'étude des bactéries dans le sable des filtres non submergé a permis aux expérimentateurs d'élucider quelques faits qui avaient été jusqu'alors inexpliqués ; ils sont dus à la présence de bactéries vivantes dans le sable de l'appareil.

Nous savons de même qu'il suffit de changer la nature de l'eau brute dirigée sur les filtres pour voir augmenter ou diminuer la teneur en bactéries

des eaux épurées, suivant que l'eau brute est riche ou pauvre en matériaux nutritifs pour les microbes.

Le tableau montre jusqu'à quelle point va cette augmentation qui peut être considérable.

EFFET D'INFECTION PRODUIT PAR UNE SOLUTION DE PEPTONE

	La solution de peptone renferme	
	20 gr. — Bactéries par cmc. eau filtrée	40 gr. — Bactéries par cmc. eau filtrée
La veille à midi.....	15	10
8 heures du matin (jet)....	10	15
10 — —	33	32
Midi.....	568	720
2 heures du soir.....	7.543	8.980
4 — —	9.820	14.570
6 — —	18.950	39.160
8 — —	23.250	80.790
2e jour à midi.....	5.585	46.900
3e —	1.705	32.000
4e —	395	7.660
5e —	175	1.875
6e —	38	510
7e —	27	208
9e —	20	85
10e —	13	65
11e —	15	60

On voit que ces marées microbiennes surviennent rapidement : le maximum s'est montré douze heures après le passage de la solution de peptone.

On ne saurait donc nier que la composition de

l'eau affluente soit sans action sur le chiffre des bactéries de l'eau sortant de l'appareil ; on a toujours observé que ce nombre est d'autant plus élevé que l'eau renferme des matériaux pouvant servir d'aliments aux microbes.

Nous savons que dès les expériences avec l'appareil de M. Robert, on avait remarqué que l'action du filtre était la suivante :

Abaissement du degré hydrotimétrique de l'eau ;

Augmentation du taux oxymétrique ; augmentation qui était telle que l'eau des féculeries qui abaissait considérablement le titre oxymétrique des eaux de rivière où on les déversait était oxydée dans cet appareil.

Cette oxydation qui a pour effet de détruire la matière organique qui n'est jamais aussi considérable en pratique que dans les expériences ci-dessus rapportées contrebalance ainsi dans une certaine mesure les effets fâcheux que peut produire une eau brute qui en serait souillée.

5° **Débit du filtre.** — La masse d'eau que notre filtre devra contenir est la dernière condition primordiale qui nous reste à étudier : elle doit être inférieure au volume du vide existant entre les grains de sable. Il y a donc lieu de rechercher le volume de ce vide et de s'inquiéter de l'influence qu'il peut avoir sur la vitesse de filtration.

M. Félix Brard a trouvé que dans un sable homogène le vide était indépendant du diamètre des

grains de sable et de la manière dont ils sont arrangés. Si le sable n'est pas homogène formé de deux grosseurs de grains, le vide diminue, le sable fin remplissant le bide laissé entre les plus gros grains.

De nombreuses expériences ont été faites pour déterminer le vide des sables plus ou moins tamisés voici les principaux résultats :

ESPACES VIDES DANS LES SABLES

NATURE DU SABLE	VIDES o/o	NOM DE L'AUTEUR
Sable ordinaire	31,0 à 38,0	CLAUDEL
Gros sable de 0,0045 à 0,002 m	41,6	
Sable moyen de 0,001 m	40,0	RAUCOURT
Sables fins de 0,00023 m	33,33	
Sablons	28,6	
Sable moyen > tamis 90 à 100 mailles	51,3	Paul ALEXANDRE.
Sable moyen > — 140 à 175 —	50,0	en 1890
Sable très fin > — 175 à 280 —	46,5	*Annales des Ponts*
Sable mélangé	41,5	*et Chaussées*
Gros sable, tamis de 45 à 775	43,9	
Sable moyen — 75 à 100	45,5	
Sable fin — 110 à 185	49,7	
Sable très fin — 185	52,6	CANDLOT
Sable sec versé à la pelle	45,0	en 1892
Sable plus ou moins humide	45,0 — 54,7	*Annales des Ponts*
Sable sec versé sans tassement	44,5	*et Chaussées*
Sable sec tassé à refus	35,0	
Sable saturé d'eau mesuré d[s] une éprouv.	37,5	
Sable de Juvisy : passé au tamis de 342 mm (cm²)	39,0	
Sable de Juvisy : 90 — 342	42,0	
Sable de Juvisy : 25 — 90	43,0	
Sable de Juvisy : 9 — 25	44,0	
Sable de Juvisy : 1 — 9	44,0	DUTOIT
Sable de Juvisy : Mélange	29,0	en 1890
Sable de Trief : 342	38,0	*Nouvelles Annales*
Sable de Trief : 90 au tamis de 342	41,0	*de la*
Sable de Trief : 25 — 342	44,0	*Construction*
Sable de Trief : 9 — 25	44,0	
Sable de Trief : 1 — 9	44,0	
Sable de Trief : Mélange	30,0	

M. le Dr Miquel a trouvé que la quantité d'eau nécessaire pour submerger un sable était voisine du tiers du volume total et indépendante de la grosseur des grains.

En résumé pour le sable homogène le vide est bien sensiblement égal au tiers du volume total et indépendant des dimensions des grains et pour un sable non homogène il est un peu plus faible, d'autant plus que les grains seront d'un diamètre plus différent.

Dans la pratique, on devra donc s'assurer d'une certaine homogénéité du sable.

On peut admettre que la quantité d'eau existant dans un filtre à sable non submergé est égale sensiblement au début du filtre multiplié par le temps que met une tranche d'eau uniformément répartie à la surface pour parvenir à la base du filtre.

Le débit est facile à calculer, mais il n'en est pas de même du temps que met la tranche d'eau à traverser le filtre. Des expériences de coloration à la fluorescéine permettent cependant de connaître le temps minimum que met une molécules à traverser le filtre, et si nous adoptons ce temps pour toutes les molécules il est alors très facile de connaître la quantité maximum d'eau existant dans le filtre non submergé.

M. Miquel fit de nombreuses expériences de coloration ; et voici les résultats en les calculant par mètre carré de surface filtrante.

Ces expériences permettent de conclure que :

1° La vitesse de passage de l'eau au travers d'un filtre à sable non submergé diminue avec la grosseur du sable et le volume d'eau amené à la surface du filtre ;

2° Les sables fins comme celui de Fontainebleau

VOLUME D'EAU CONTENU DANS UN FILTRE A SABLE SUBMERGÉ

	TRANCHE D'EAU PAR 24 HEURES	DÉBIT A LA MINUTE	DURÉE DU SÉJOUR DE L'EAU DANS LE FILTRE	VOLUME D'EAU PARCOURANT LE SABLE
	m^3	cm^3	seconde	
	1,959	1.379	204	279,5
Sable de Fontainebleau	1,673	1.170	231	270,3
	1,359	950	273	259,4
	5,414	3.760	42	158,0
Sable de Seine	4.923	3.430	44	151,4
0,5 à 0,8 m.	3,838	2.680	48	128,5
	3,207	2.240	55	123,2
	2,445	1.710	69	118,0
	3,081	2.152	57	121,6
Sable moyen de Seine	2,445	1.710	63	104,8
maille de 1,5 m.	1,630	1.140	92	107,7
	0,816	570	151	86,0
	0,389	272	271	73,7

par exemple ont une tendance à conserver de gros volumes d'eau dans les espaces vides existant entre les grains de sable, c'est-à-dire que les filtres à sable non submergé faits avec des sables fins contiennent une quantité d'eau voisine de celle qui est nécessaire pour obtenir la submersion du filtre. Cette submer-

sion sera d'autant plus facilement atteinte que les sables auront moins de vide, c'est-à-dire seront formés de grains plus différents les uns des autres.

Pour avoir une notion exacte de l'influence des débits sur le bon fonctionnement des filtres à sable non submergé, il faut avoir recours à des essais d'une autre nature et étudier la perméabilité de ces appareils à l'égard d'une espèce bien connue, normalement absente dans les eaux filtrées et incapable de s'y multiplier : Les expériences furent faites avec le bacille du côlon.

Pour infester l'eau amenée sur le filtre, on fit couler uniformément, dans l'entonnoir qui recevait la totalité de l'eau à répartir sur le sable, une culture de bacille du côlon âgée de vingt-quatre heures et diluée au cinquième.

Dans tous les cas cette infection a été maintenue pendant cinq heures consécutives, et les prélèvements d'eau filtrée ont été exécutés dès la première heure et pendant les huit à dix jours suivants à raison de seize prélèvements horaires par vingt-quatre heures.

Dans les quatre cas d'infection ci-après rapportés, la quantité de bacillus coli-communis répandue sur le sable a été voisine de 12 à 14 milliards.

Les résultats de ce groupe d'expériences donnent ainsi :

Dans le premier essai d'infection, alors que la vitesse du débit correspondait à une tranche d'eau journalière de 0 m. 716, le bacille du côlon n'a

INFECTION PAR LE BACILLE DU COLON

(Bassin III : diamètre = $0^{m}80$, surface = $0^{m2}5025$)

Recherche du bacille du côlon dans 640 cm³ d'eau (16 essais dans 24 heures)

Eau infectée Bacilles du colon par cm³ d'eau brute	Débit à la minute	Tranche d'eau par 24 heures	Premier jour		Deuxième jour		Troisième jour		Quatrième jour		Cinquième jour	
			Bactéries par cm³	*B. coli* dans 640 cm³	Bactéries par cm³	*B. coli* dans 640 cm³	Bactéries par cm³	*B. coli* dans 640 cm³	Bactéries par cm³	*B. coli* dans 640 cm³	Bactéries par cm³	*B. coli* dans 640 cm³
	cm³	m										
176.000	250	0,716	14	0	134	0	27	0	12	0	17	0
81.000	530	1,516	24	0	103	0	14	0	26	0	15	0
51.000	860	2,460	30	0	20	1	33	0	40	0	22	0
44.000	1000 à 1010	2,878	12	6	140	13	16	9	17	2	16	2
			Sixième jour		Septième jour		Huitième jour		Neuvième jour		Dixième jour	
176.000	250	0,716	6	0	1	0	7	0	8	0	7	0
81.000	530	1,516	21	0	30	0	11	0	»	0	»	»
51.000	860	2,460	48	0	23	0	42	0	40	0	»	»
44.000	1000 à 1010	2,878	»	2	»	1	19	1	16	0	17	0 (1)

1. Dans les six jours qui ont suivi, le bacille du côlon s'est montré absent dans 3840 cm³ d'eau filtrée.

jamais paru dans l'eau filtrée ; on note, ainsi que cela s'observe généralement, toutes les fois qu'on ajoute une substance nutritive aux eaux brutes une recrudescence de bactéries qui disparaît rapidement quand la quantité de substance nutritive (peptone) n'a pas été trop copieusement ajoutée.

Dans l'essai suivant, où la tranche d'eau a été portée à 1 m. 516, on obtient un résultat identique: les bacilles restent dans le sable constituant le filtre.

Dans le troisième essai, où la tranche d'eau égale 2 m. 460 en vingt-quatre heures, on rencontre le deuxième jour un bacille du côlon dans l'un des seize prélèvements horaires. Ce fait serait l'indice, s'il n'y a pas eu une erreur d'expérience, qu'à cette vitesse l'espèce répandue à la surface du filtre a pu céder une unité à l'eau dirigée à travers le sable.

En admettant que les bacilles aient été entrainés uniformément pendant les dix jours de l'expérience, il en aurait passé 7.200.000, or un seul aurait pu passer dans l'eau filtrée.

Si on augmente la vitesse de filtration à 2.878 litres par jour et par mètre carré, on a dès le quatrième essai d'infection et à la quatrième heure du premier jour le passage du bacille du côlon qui s'accentue les deuxième et troisième jours, puis va rapidement en s'atténuant jusqu'au huitième : à partir de là jusqu'au seizième jour les prélèvements horaires n'on pu déceler un seul bacille : ainsi dans ce quatrième essai un bacille sur 172.000 a été entrainé.

Malgré cette imperfection du filtre à sable non

submergé observé dans ce quatrième essai, on peut dire qu'en dehors des appareils stérilisateurs par la chaleur, il n'existe pas de procédé d'épuration des eaux capable de retenir ou de détruire un bacille du côlon sur 172.000 par centimètre cube, même l'ozone qui reste un des meilleurs procédés de purification des eaux ainsi que les rayons ultra-violets.

D'ailleurs on a rarement dans la pratique l'occasion d'épurer des eaux renfermant plus de 100.000 bacilles du côlon par centimètre cube, et on ne peut que s'étonner à cet égard que les appareils à sable non submergé fassent preuve d'un pouvoir épurateur aussi puissant.

On a ainsi l'explication, avec ces expériences d'infection, pourquoi, avec des débits voisins de 7.000 litres par mètre carré et par vingt-quatre heures, le bacillus coli-communis contenu en quantité relativement faible dans les eaux brutes ne se retrouvait plus dans les eaux filtrées ; mais que avec un débit supérieur à 2.400 litres, les infections puissantes, artificielles ou accidentelles, peuvent contaminer les eaux filtrées dans une faible mesure, il est vrai, et donnent toujours une eau non nuisible, mais mesure décelable par l'analyse bactériologique.

Donc si l'on veut retenir absolument et dans tous les cas les bacilles pathogènes d'une eau brute dirigée sur des filtres à sable submergé, il paraît sage, comme ces expériences nous le démontrent, de ne pas dépasser la vitesse de 2 m^3 500 par jour et par mètre carré.

Il reste maintenant à éclaircir la question suivante : Si nous restons un certain temps sans nous servir du filtre à sable non submergé, dans quel état le retrouverons-nous, et sera-t-il capable de bien fonctionner de nouveau ?

Dans les essais qui furent fait, on suspendit l'irrigation des filtres pendant vingt-quatre heures, quarante-huit heures, trois jours, huit jours et même davantage; on ne constata pas de recrudescence bactérienne bien sensible lorsqu'on rétablit le débit normal.

Les eaux d'égoutture provenant de la base du filtre soustrait aux irrigations fournissent une eau dont le chiffre des bactéries va d'ordinaire en croissant au fur et à mesure qu'on s'éloigne de l'instant où la marche de l'appareil a été suspendue et comme on ne peut accuser à ces moments les eaux brutes d'avoir semé l'infection, c'est bien immobilisée dans les matériaux filtrants qui subit des recrudescences bactériennes.

Les eaux d'égoutture n'offrent toutefois jamais ou presque jamais de bacilles du côlon (on n'en trouve qu'une fois un, accidentellement).

Dans une nouvelle série d'expériences, la durée des arrêts varie de huit à onze jours et l'on eut de semblables résultats.

Enfin cette durée fut portée à deux mois et demi et voici les principaux résultats :

Influence des arrêts sur la marche du filtre

Sable de grosseur inférieure à 1 millimètre
Surface = 0 m² 5025

Dates	Tranche d'eau en 24 heures	Eau brute		Eau filtrée	
		Bactéries par cmc.	*B. coli* dans 100 cmc.	Bactéries par cmc.	*B. coli* dans 100 cmc.
1908 novembre.	2 m. 765	393	14	45	0
décembre.	2 m. 760	417	43	162	0
Arrêt de soixante-quinze jours.					
1909 mars 16...	2 m. 907	745	66	470	0
— 18...	2 m. 964	1590	40	145	0
— 20...	2 m. 921	1000	20	125	0
— 22...	2 m. 921	3055	22	10	0
— 24...	2 m. 893	450	33	0	0
— 26...	2 m. 921	413	20	0	0

Ces chiffres montent que ce filtre après avoir fonctionné normalement, a donné après un arrêt de soixante-quinze jours et le rétablissement brusque d'un débit d'environ 3 mètres cubes par mètre carré et par jour, une eau filtrée chargée de quelques bactéries épiphénoménales dont le nombre a rapidement diminué sous l'influence des nettoyages produits par l'eau épurée.

Au bout du cinquième jour, l'eau de la canalisation traitée par le filtre devient d'une extrême pureté bactérienne et n'a présenté qu'une seule fois un bacille du côlon dans 100 centimètres cubes : il avait pu être entraîné dans la partie inférieure du

filtre par le rétablissement brutal du débit primitif.

Si dans les cas précédents les interruptions ne sont pas suivies de recrudescence appréciable de bactéries vulgaires dans les eaux filtrées au bout d'un fonctionnement de vingt-quatre heures cela est dû d'abord à ce que les bactéries ne se sont que faiblement développées pendant les arrêts dans l'eau humectant le sable, et ensuite à ce que les premières chasses d'eau ont pu nettoyer en peu d'heures la partie inférieure de l'appareil.

Si les bactéries ne se sont pas puissamment multipliées dans un filtre fonctionnant déjàdepuis longtemps après avoir été mis en repos, cela tient à ce que le sable était dépourvu par suite de la destruction de la matière organique et hydro-carbonée, de substances propres à favoriser la pullulation des microbes.

Ainsi un filtre utilisé déjà depuis de long mois devient impropre à peupler de bactéries les eaux épurées qui le parcourent, contrairement à ce qu'on observe dans un filtre neuf non encore débarrassé de substances nutritives pour les fermentations et combustions produites par les espèces inférieures.

Cela nous amène à conclure que les arrêts n'ont qu'une très faible influence sur la qualité des eaux épurées par ces appareils lorsque ces derniers sont déjà depuis quelque temps en usage.

Résultats généraux d'après les expériences

En somme les filtres à sable non submergé nous donnent une eau peu minéralisée, sans matière organique et répond ainsi à l'ancienne définition de l'eau potable ; ils nous donnent aussi une eau, telle que la demandent les bactériologistes, où sont détruits les microbes pathogènes sans distinction et en totalité.

Les expériences longues et détaillées de MM. Miquel et Mouchet corroborent les résultats obtenus par M. Robert et nous donnent en plus toutes indications nécessaires pour faire de ces filtres des appareils vraiment pratiques, de modèles divers suivant le travail qui leur est demandé et du plus facile entretien.

Grands modèles de filtres

Les divers modèles d'application courante nous les diviserons en deux classes :

Les grands filtres à l'usage des villes, et les petits pour les faibles agglomérations ou les maisons particulières.

La première ville qui se servit de filtre non submergé, fut en 1905, la ville de Châteaudun sur l'initiative de M. L. Baudet, député.

L'eau dont s'alimente cette ville vient d'une source dite « Fontaine-Ronde » et qui subit des modifications sensibles dans sa composition chimique, et

les essais bactériologiques répétés démontrent qu'elle est souillée par des infiltrations d'eaux superficielles contaminées, comme cela arrive si souvent et qui sont la source de tant d'épidémies ; on examine la puissance de filtration sur un appareil d'essai de moyen modèle.

Ce filtre fut construit mesurant 16 mètres carrés de superficie et donnant 37 mètres cubes d'eau par vingt-quatre heures.

Les détails sont les suivants :

Sable de Fontainebleau pris à Saint-Martin-de-Brethancourt (Seine-et-Oise) ;

Hauteur du sable au-dessus des drains 1 m. 20 ;

Drainage par dalles filtrantes de la Ville de Paris de 0 m. 07 d'épaisseur ;

Surface du filtre : 4 mètres sur 4 mètres = 16 mètres carrés ;

Distribution de l'eau par 168 orifices équidistants ;

Débit à la minute : 26 litres ;

Débit par vingt-quatre heures : 37 mc. 4. ;

Débit par mètre carré filtrant et par vingt-quatre heures : 2 mc. 4. ;

Éloignement des déversoirs des parois : 0m. 35.

Ce bassin filtrant était disposé au-dessus du sol de façon que l'écoulement de l'eau soit à niveau.

Il a été établi dans une pièce où l'on maintient l'obscurité pour éviter le développement des algues ; l'aération est assurée de façon suffisante.

Ce filtre ayant donné d'excellents résultats mais n'étant pas de dimensions assez grandes, on contrui-

sit, sur le rapport de M. le profeseur Gariel, un filtre à sable non submergé de 250 mètres carrés, la ville ayant besoin d'une distribution d'eau de 1.000 mètres cubes.

L'ensemble de cet appareil se compose de trois parties distinctes:

1° Réservoir d'eau brute dans lequel est refoulée l'eau à épurer;

2° Bassin de filtration ;

3° Réservoirs d'eau filtrée ;

Pour des raisons locales et afin d'utiliser au mieux des conditions déjà existantes, le réservoir d'eau brute a été placé sur une partie des cuvcs à sable; les réservoirs d'eau filtrée sous l'autre partie.

Réservoir d'eau brute

Le réservoir d'eau brute a 24 mètres de longueur, 6 mètres de largueur, 1 m. 35 de hauteur. Sa capacité est de 200 mètres cubes environ. La hauteur a été réduite à 1 m. 35 pour ne pas avoir des variations de pression et de débit trop appréciables dans les ajustages de distribution. Un indicateur de niveau est placé dans le réservoir.

Réservoirs d'eau filtrée

Les réservoirs latéraux inférieurs où est rassemblée l'eau filtrée ont 24 mètres de longueur, 2 m. 75 de largeur et 1 m.25 de hauteur. Leur capacité est

de 83 mètres cubes environ. Des trous de visite avec tampons ont été ménagés aux extrémités opposées. Ils sont également munis d'indicateurs ds niveau.

Cuves à sable

Les cuves à sable, au nombre de 16, séparées par des passages en quatre rangées parallèles ont une largeur uniforme de 2 m. 75. Dans ces conditions, il est facile d'exercer une surveillance rigoureuse des ajutages de distribution et de les atteindre avec facilité. Ces quatre rangées sont subdivisées elles-mêmes en quatre cuves de 6 mètres de longueur, Chaque cuve a donc environ 16 mètres carrés de surface.

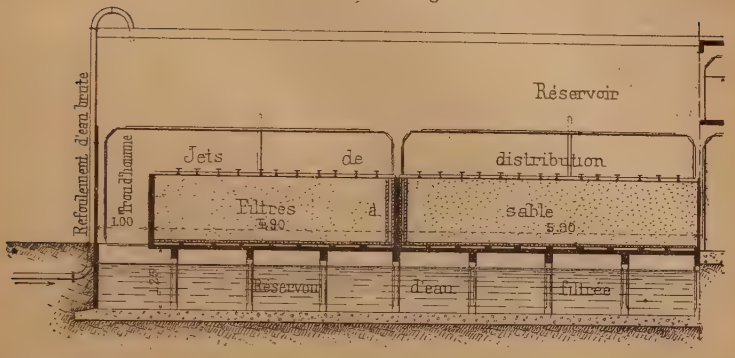
Il est à remarquer que cette surface est précisément celle du filtre d'essai suivi bactériologiquement pendant deux années. Il apparaît comme certain que, les conditions de fonctionnement étant absolument identiques, les résultats ont toutes les chances d'avoir la même valeur pour chaque cuve de cet ensemble considérée isolément.

J'estime, qu'en suivant cette technique, les aléas d'une grande installation se trouvent réduits à un strict minimum.

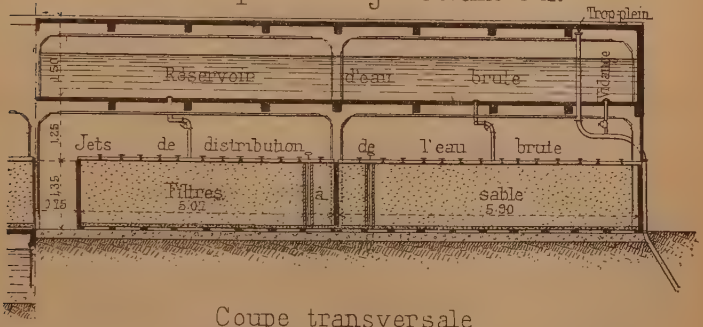
La partie inférieure de ces cuves, constituant le radier, conduit l'eau à l'orifice d'écoulement par une pente dirigée vers l'un des angles.

Au-dessus du radier se trouve le drainage qui sert

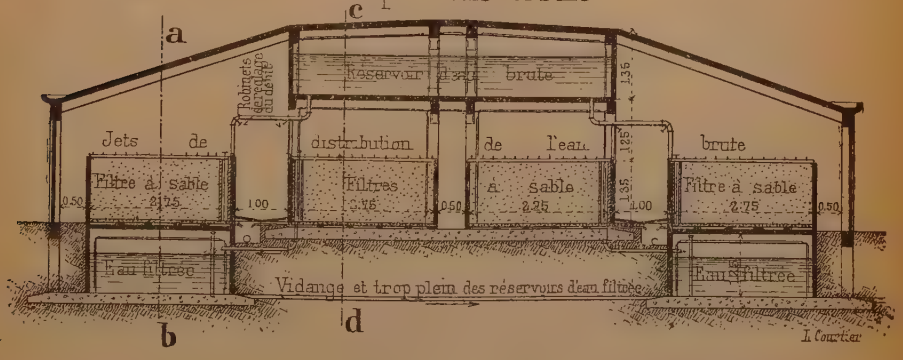
Demi-coupe en long suivant **ab**.



Demi-coupe en long suivant **cd**.



Coupe transversale



de support à la masse filtrante. Il est constitué par des dalles en béton maigre de ciment armé de 0 m. 05 d'épaisseur et de 0 m. 55 de longueur sur 0 m. 05 de largeur dont les angles reposent sur des briques simples posées à plat sur le radier.

Dans les allées, il a été établi des regards avec des robinets en communication avec chaque cuve. On peut ainsi faire le contrôle bactériologique individuel et mettre hors service les cuves qui ne fonctionneront pas d'une façon satisfaisante.

Masse filtrante

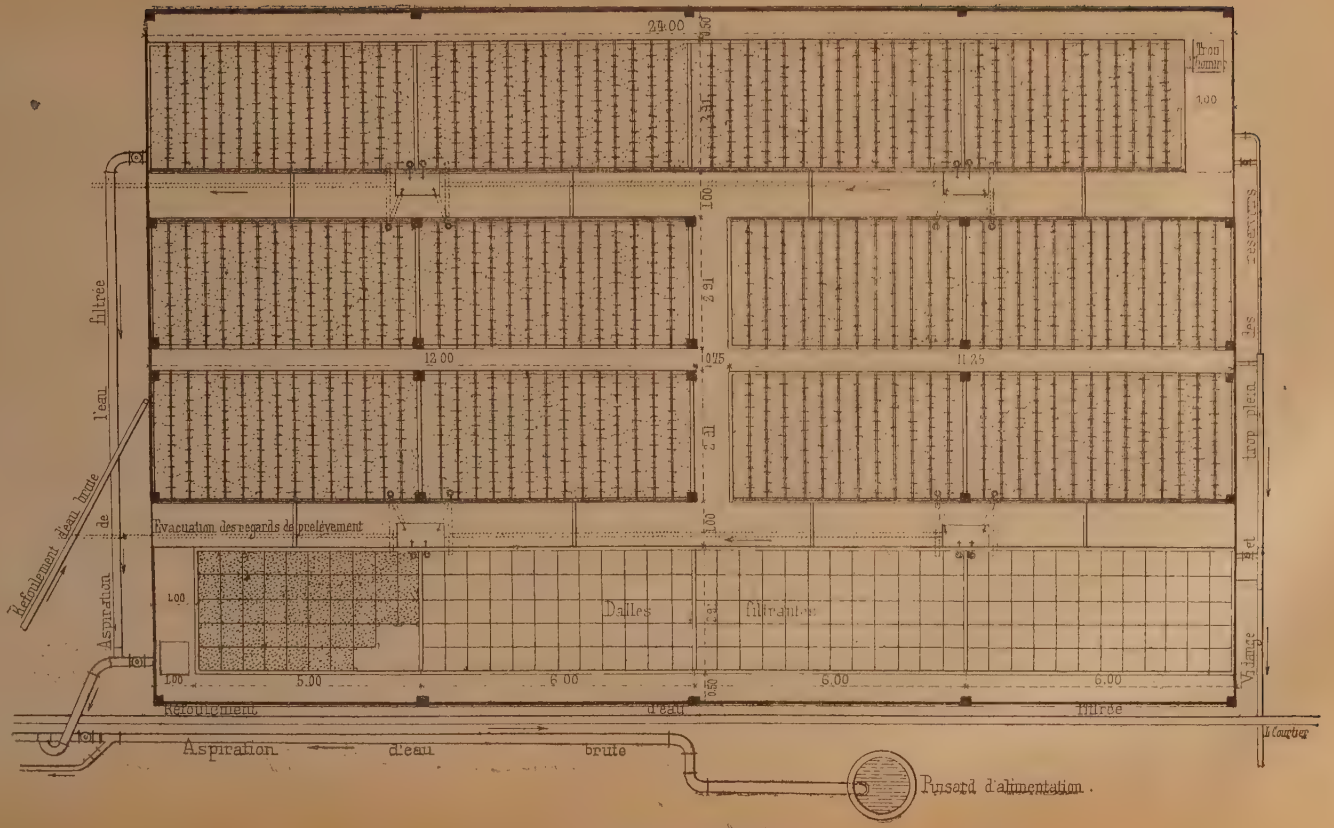
Le sable constituant le filtre est du sable de Loire lavé et passé au tamis à mailles de 1 mm. 1/2. L'ensemble des cuves contient environ 320 mètres cubes de sable. La hauteur de la couche filtrante est de 1 m. 25.

Distribution de l'eau sur les filtres ; Évacuation.

L'eau arrive du réservoir d'eau brute par huit tuyaux en fer galvanisé de 0 m. 06 de diamètre. Chacun de ces tuyaux se subdivise en deux autres de 0 m. 040 de diamètre commandés chacun par un robinet valve.

Ces tuyaux viennent constituer sur la paroi de chaque cuve en se divisant en deux branches horizontales une conduite nourrice sur laquelle viennent

Plan au-dessus du niveau du sable.



Filtre de Châteaudun

se placer, à angle droit, 14 tubes de 0 m. 015 de diamètre intérieur.

Ils sont fixés sur la nourrice au moyen de raccords en trois pièces facilement démontables et sont fermés à l'autre extrémité au moyen d'un bouchon à vis. Il est ainsi très aisé de les nettoyer ou de les changer s'il y a lieu.

Chaque tube porte alternativement 11 et 12 ajutages spéciaux, doubles, démontables, qui sont formés de deux parties unies simplement à frottement, ce qui en rend le nettoyage très facile.

L'ensemble constitue ainsi pour une cuve 322 jets répartissant l'eau d'une façon régulière sur 16 mètres carrés soit 20 jets environ par mètre carré. Les 16 cuves réunies comportent donc 4968 jets d'eau qui peuvent déverser 1000 mètres cubes d'eau par vingt-quatre heures.

L'eau, après avoir traversé le sable, est collectée par le système de drains précédemment décrit et s'écoule vers l'orifice eu suivant la pente du radier.

Cet orifice est muni d'une simple bonde à soupape qui se manœuvre du haut du filtre par une tringle logée dans un fourreau de grès cérame entouré d'une chape en ciment qui traverse le sable.

Le robinet de prélèvement pour les analyses se trouve à côté de la bonde, mais un peu plus bas de façon à permettre la prise d'échantillons sans obliger à fermer cette bonde.

Enfin, il faut signaler que le tout est clos au moyen de cloisons de briques et par une toiture à

double pente. L'éclairage est réalisé par un certain nombre de dalles de glace brute de façon à ce qu'il soit suffisamment atténué pour éviter le développement d'algues.

Dans une communication à la Société de Médecine publique et de Génie sanitaire, M. Baudet exposa les résultats donnés par cette installation et il a fait voir tout ce que l'on pouvait attendre des filtres à sable non submergé.

Filtre d'essais. — Du 21 novembre 1905 au 15 mai 1906, les analyses faites au laboratoire du Conseil supérieur d'hygiène de France sous la direction de M. le professeur Pouchet n'ont pu déceler d'espèces suspectes, colibacille y compris, dans l'eau filtrée ; le nombre d'espèces banales variait de 1 à 6 alors qu'il était de 300 à 2500 dans l'eau brute.

Une seconde série de 13 analyses faites par le laboratoire de bactériologie de la Ville de Paris sous la direction de M. Miquel a donné le même résultat : on n'a jamais trouvé de colibacille dans l'eau filtrée alors que dans l'eau brute on l'y rencontre toujours :

Surface 16 m² — Débit de 2,5 m³ à 5 m³.

Sable de Loire

DATES	DÉBIT	EAU BRUTE		EAU FILTRÉE	
		BACTÉRIES par c. c.	BACILLUS coli	BACTÉRIES par c. c.	BACILLUS coli
7 janvier 1907.....	2,5	1.065	B. C.	37	0
15 —		5.320	B. C.	40	0
22 —		2.355	B. C.	15	0
29 —	3,0	1.545	B. C.	8	0
5 février 1907.....	3,5	545	B. C.	3	0
11 —		1.064	B. C.	24	0
18 —	4,0	118	B. C.	6	0
5 mars 1907		415	B. C.	0	0
12 —		2.770	B. C.	5	0
19 —	4,5	565	B. C.	3	0
26 —		1.875	B. C.	2	0
3 avril 1907	5,0	1.455	B. C.	1	0
9 —		575	B. C.	13	0

Résultats du filtre actuel (1909-1910)

Dates	Eau brute — Bacillus coli communis	Eau filtrée — Bacillus coli communis
10 avril 1909...	O	BC
15 — ...	O	BC
20 — ...	BC	BC
25 — ...	BC	BC dans 1 case
30 — ...	BC	BC
5 mai 1909....	O	O
10 —	BC	O
15 —	BC	O
20 —	BC	BC
24 —	O	O
5 juillet 1910..	BC	BC
10 — ..	BC	O
15 — ..	BC	BC dans 1 case
30 — ..	BC	O
5 août 1910....	BC	O
10 —	BC	O
15 —	BC	O
20 —	BC	BC dans 1 case
25 —	BC	O
30 —	BC	BC dans 1 case
10 nov. 1910...	BC	O
25 — ...	BC	BC
30 — ...	BC	BC dans 1 case
5 déc. 1910....	BC	O
10 —	BC	BC dans 1 case
15 —	BC	BC
20 —	BC	BC
25 —	O	O
30 —	BC	O

Résultats du filtre actuel (1911)

Dates	Eau brute — Bacillus coli communis	Eau filtrée — Bacillus coli communis
5 janvier 1911.	O	O
25 — .	BC	O
15 mai 1911....	BC	O
20 —	BC	O
25 —	BC	O
1er juin 1911....	BC	BC dans 1 case
15 —	BC	O
20 —	BC	BC
30 —	BC	O
5 juillet 1911..	BC	O
10 — ..	BC	O
15 — ..	BC	O
25 août 1911....	BC	O
30 —	BC	O
5 sep. 1911....	BC	O
15 —	BC	O
25 —	BC	O
30 —	BC	O
5 octobre 1911.	BC	BC
15 nov. 1911...	BC	BC
20 — ...	BC	O
25 — ...	BC	O
30 — ...	BC	O
5 déc. 1911....	BC	O
10 —	BC	O
15 —	BC	O
20 —	BC	O

Du 1er mai au 10 juin 1912, il a été constamment rencontré le bacillus coli dans l'eau brute et on ne

l'a rencontré que trois fois dans l'eau filtrée, une fois sans cause appréciable, une autre un tourniquet était arrêté et la dernière la couche superficielle du sable était choyée.

Une autre application fut faite à l'Exposition d'Hygiène de Marseille de 1910 pour l'essai d'épuration de l'eau du canal alimentant cette ville.

Les résultats consignés en regard de ceux obtenus avec les appareils à sable submergé ne furent pas satisfaisants. Ce résultat, d'après l'avis de M. Marboutin, tiendrait à ce que le sable trop argileux n'avait pas été suffisamment lavé ce qui explique le colmatage rapide de l'appareil.

De plus, vu la grosseur des grains de sable, il fallait une période de mûrissement relativement longue, tandis que l'examen de ce filtre a été fait avant qu'elle fût terminée. Il ne faut pas oublier que les filtres à gros grain, dans une expérience de MM. Miquel et Mouchet ont demandé pour cela plus d'un an, et que les sables argileux se sont encrassés rapidement.

On a tenté dernièrement l'établissement d'un filtre non submergé au parc de Montsouris, mais cette expérience n'étant pas encore mise au point nous ne pourrons en discuter les résultats.

Petits appareils

Quant aux petits modèles, on en a proposé plusieurs : nous citerons les principaux types.

Le génie militaire recommande un appareil de

INSTALLATION PUECH-CHABAL
A L'EXPOSITION DE MARSEILLE

FILTRE SUBMERGÉ ET FILTRES NON SUBMERGÉS

Mois de Juin 1910

DATES des prélèvements	EAU BRUTE		FILTRE SUBMERGÉ		FILTRES NON SUBMERGÉS			
					SYSTÈME BROCQ		SYSTÈME BAUDET	
	Bactéries dans 1 cm³	Colibacilles dans 100 cm³	Bactéries dans 1 cm³	Colibacilles dans 100 cm³	Bactéries dans 1 cm³	Colibacilles dans 100 cm³	Bactéries dans 1 cm³	Colibacilles dans 100 cm³
1	5.800	100	liq. comp.	7	liq. comp.	20	liq. comp.	100
2	3.120	100	860	2	d°	10	d°	100
3	9.000	100	»	»	»	»	»	»
4	12.950	100	»	»	»	»	»	»
5	liq. comp.	100	1.130	5	3.720	2	6.456	20
6	2.850	100	227	10	»	»	»	»
7	7.215	100	946	1	»	»	»	»
8	7.540	100	473	1	»	»	»	»
9	1.750	100	868	1	liq. comp.	10	7.600	7
10	5.300	100	475	1	»	»	»	»
11	5.670	100	455	2	»	»	»	»
12	8.640	100	115	1	»	»	»	»
13	9.045	100	470	2	»	»	»	»
14	2.560	100	gél. fond.	1	950	2	635	2
15	gél. fond.	100	d°	1	gél. fond.	10	gél fond.	10
16	d°	100	d°	1	d°	5	d°	5
17	d°	100	d°	1	d°	5	d°	2
18	d°	100	d°	1	d°	2	d°	2
19	3.335	100	90	1	d°	5	168	2
20	33.360	100	115	0 (2)	780	»	2.380	2
21	14.280	100	264	0 (2)	728	»	468	5
22	27.870	200	530	0 (2)	56	1	380	1
23	18.000	100	98	0 (1)	985	1	625	2
24	4.005	200	335	0 (1)	790	1	610	5
25	9.625	200	201	0 (1)	415	1	510	5
26	3.500	100	235	0 (1)	590	1	980	0 (2)
27	6.500	100	227	0 (1)	»	»	»	»
28	9.000	100	306	1	690	1	645	1
29	2.500	100	207	1	11.200	»	855	1
30	9.500	100	296	0 (1)	255	1	735	0
Moy.	8.917	110	405	1,5	1.763	4	1.646	13,6

1. On a également constaté l'absence du coli-bacille dans 140 cent. cubes d'eau.
2. d° 160 d°

INSTALLATION PUECH-CHABAL
A L'EXPOSITION DE MARSEILLE

FILTRE SUBMERGÉ ET FILTRES NON SUBMERGÉS

Mois de Juillet 1910

DATES DES PRÉLÈVEMENTS	EAU BRUTE		FILTRE SUBMERGÉ		FILTRES NON SUBMERGÉS			
					SYSTÈME BROCQ		SYSTÈME BAUDET	
	Bactéries dans 1 cm³	Coli-bacilles dans 100 cm³	Bactéries dans 1 cm³	Coli-bacilles dans 100 cm³	Bactéries dans 1 cm³	Coli-bacilles dans 100 cm³	Bactéries dans 1 cm³	Coli-bacilles dans 100 cm³
1	10.500	30	215	0 (1)	605	0 (2)	545	0 (2)
2	750	100	180	0	115	0 (2)	590	0 (2)
3	4.000	100	liq. compl.	0 (2)	345	0 (2)	300	0 (2)
4	4.250	100	»	»	»	»	»	»
5	3.000	100	liq. compl.	0	347	0	510	0 (2)
6	16.500	100	id.	0	230	0	422	0 (2)
7	7.000	200	»	»	»	»	»	»
8	11.250	100	204	0	310	0 (1)	422	0 (2)
9	10.250	200	200	0 (2)	400	0 (2)	410	0 (2)
10	4.250	100	171	0	255	0 (2)	290	0 (2)
11	4.250	200	liq. compl.	0 (1)	135	0 (2)	355	1
12	4.500	200	164	2	180	1	160	5
13	10.000	200	205	1	210	0 (2)	295	2
14	»	»	»	»	»	»	»	»
15	7.000	200	237	1	420	0	435	0 (2)
16	7.000	200	175	1	282	2	312	0 (2)
17	»	»	»	»	»	»	»	»
18	5.250	200	125	0 (3)	355	5	297	0 (2)
19	1.500	200	»	»	»	»	»	»
20	4.250	100	165	2	342	0 (3)	liq. compl.	2
21	»	»	»	»	»	»	»	»
22	500	200	»	»	»	»	»	»
23	4.500	200	»	»	»	»	»	»
24	2.750	100	137	0 (2)	437	2	280	2
25	»	»	»	»	»	»	»	»
26	2.750	100	»	»	»	»	»	»
27	1.200	100	70	0 (2)	367	0	305	0 (2)
28	1.800	50	185	1	322	0	275	0 (2)
29	4.500	20	110	»	217	1	222	2
30	1.800	50	»	»	282	0 (2)	245	0 (3)
31	2.350	10	142		295	1	245	1
Moy.	5.098	128	168	0,4	307	0,6	346	0,7

(1) On a également constaté l'absence du coli-bacille dans 140 centim. cubes d'eau.
(2) id. id. id. id. 160 id. id.
(3) id. id. id. id. 260 id. id.

1 m. 20 de hauteur et 80 centimètres de diamètre.

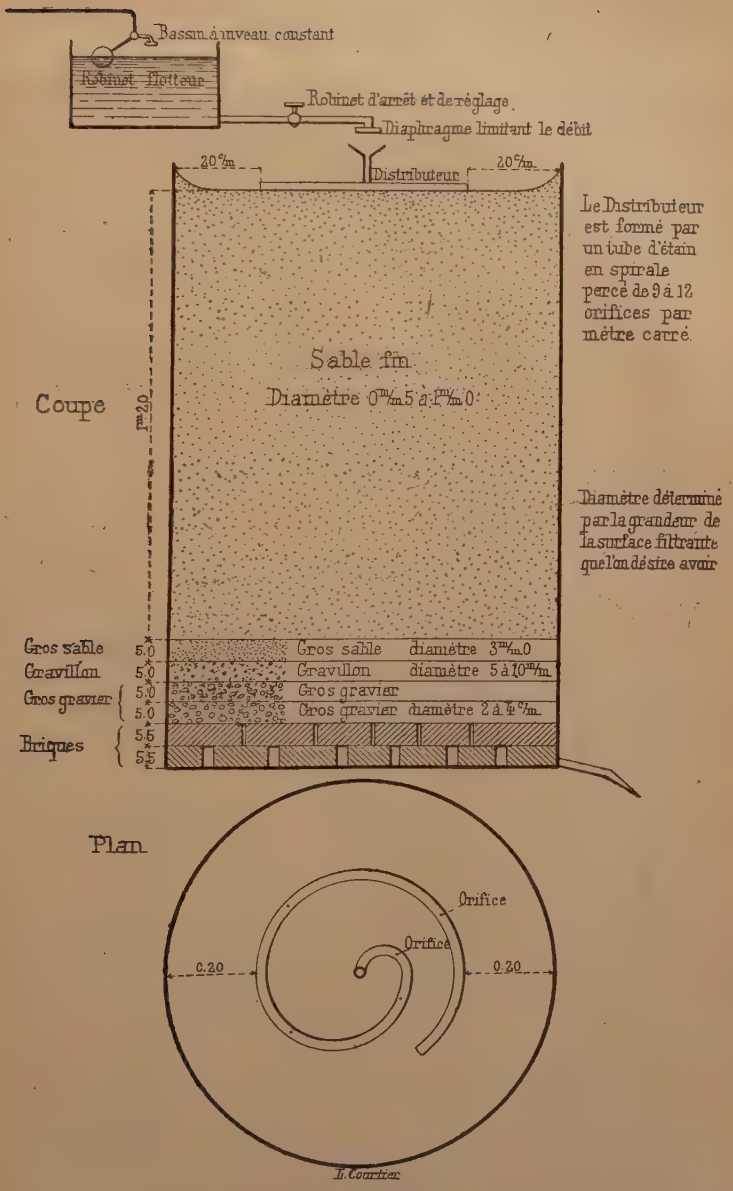
On emploie du sable de 0 mm. 5 à 1 millimètre. La distribution de l'eau afférente se fait au moyen d'un tube d'étain en spirale percé de 9 à 12 orifices par mètre carré. Le diamètre peut être augmenté suivant la surface filtrante que l'on désire avoir.

Les expériences faites par la commission militaire à Alger ayant donné de bons résultats on en a installé à Laghouat et Oudjda. Pourtant quelques médecins militaires nous ont dit ne pas avoir été toujours satisfaits et d'autres appareils expérimentés au Val-de-Grâce par M. le Dr Lemoine n'ont pas donné le degré d'épuration que l'on pouvait en attendre.

M. Cuau a créé un filtre de perméabilité variable constitué par un bloc de sable dont la paroi était revêtue d'injections de ciment approprié. M. Marboutin rapporte que des filtres de 8 à 10 centimètres de diamètre auraient donné de bons résultats : il est permis de faire des réserves à ce sujet, étant donné les expériences de M. Miquel et Mouchet sur les petits diamètres.

Le modèle de M. Marboutin a 0 m.30 de diamètre, mais il ne faut guère s'éloigner de 50 ou 40 centimètres ce qui peut être un minimum.

M. Gauthier fit des appareils en tôle galvanisée de 2 mètres de hauteur sur 40 ou 70 centimètres de diamètre. Cette dernière dimension nous paraît meilleure ; ils peuvent donner respectivement 500 litres et 2.000 litres d'eau par vingt-quatre heures. En haut se trouve un petit dégrossisseur.



Filtre du génie militaire

En somme pour tous ces petits modèles il faudra constamment avoir sous les yeux les principes qui résultent des expériences que nous avons rapportées et leur fabrication quoique simple d'apparence ne devra pas permettre la pullulation des bactéries épiphénoménales, ce qui est ici le gros obstacle à éviter.

CONCLUSIONS

C'est M. Robert qui, dès 1885, construisit le premier filtre à sable non submergé, mais les expériences décisives, celles qui le firent employer sont celles de MM. Miquel et Mouchet. Enfin, c'est M. L. Baudet, en 1905, qui fait entrer cet appareil dans la pratique courante.

Les filtres à sable non submergé sont de facile construction, vu la simplicité des matériaux, et de facile entretien.

Dans les expériences, ils ont donné une eau bactériologiquement pure, les bactéries de l'eau d'arrivée étant détruites dans l'appareil; mais en pratique ainsi que nous l'avons vu pour les filtres établis par les municipalités ces résultats sont loin d'être obtenus constamment.

Quant aux petits modèles aussi bien dans les expériences que dans les applications pratiques ils ne donnent pas une épuration bactériologique aussi parfaite que les grands modèles et leur emploi ne saura être conseillé sans réserve.

Vu : le Président de thèse,
WIDAL

Vu : le Doyen,
LANDOUZY

Vu et permis d'imprimer :
Le Vice-Recteur de l'Académie de Paris,
L. LIARD

BIBLIOGRAPHIE

Arnaud, Fabry et Moitessier. — Rapport présenté au nom de la Commission extra-municipale de Contrôle des essais d'épuration de l'eau du canal alimentant la ville de Marseille, 1910.

Baudet (L.). — Filtres à sable non submergé (Dunot et Pinat), 1908.

Chassevant (A.). — Les Filtres à sable non submergé (L'Hygiène générale et appliquée, 1908).

Circulaire prescrivant l'adoption pour l'armée de filtres à sable non submergé suivie d'une instruction au sujet de l'installation et du fonctionnement de ces filtres (Bulletin officiel du ministère de la Guerre, 1910).

Dimitri (G.). — Épuration des eaux d'alimentation. Filtration par le sable non submergé. Application par la ville de Châteaudun (Technique sanitaire, mai-août, 1908).

Gauthier (L.). — Rapport sur l'épidémie typhique de Saint-Lubin en Vergonnois, 1910.

Marboutin (F.). — Revue du Touring-Club, août 1908.

— Les Nouveaux filtres à sable non submergé. (Mémoire des ingénieurs civils de France, février 1909).

Miquel et Mouchet. — Épuration des eaux de source et de rivière par les sables non submergés (Annales de de l'observatoire de Montsouris, 1904).

— Nouvelles recherches sur l'épuration des eaux de source et de rivière par les filtres à sable non

submergé (Annales de l'observatoire de Montsouris, 1905).

— Nouvelles remarques sur les filtres à sable non submergé (Annales de l'observatoire de Montsouris, 1906).

— Les Filtres à sable non submergé (Revue scientifique, 12 et 19 janvier 1907).

— Nouvelles recherches sur les filtres à sable non submergé (Annales de l'observatoire de Montsouris, 1909).

Imp. de la Faculté de Méd., Jouve et Cie, 15, rue Racine, Paris — 1591-12

LANE MEDICAL LIBRARY

To avoid fine, this book should be returned on or before the date last stamped below.